

特性描述

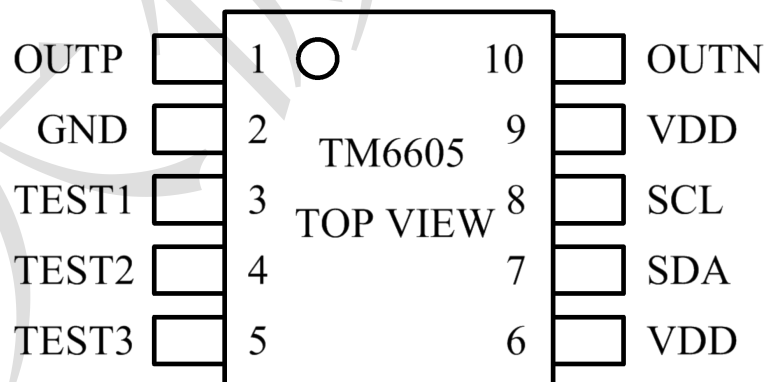
TM6605 是一款专为解决在驱动线性振动马达 (LRA) 触觉反馈元件中常见障碍的触觉反馈驱动器。TM6605 还被用于为具有低延迟、极高的效率、以及大驱动强度的便携式器件中常用驱动器提供驱动力。LRA 驱动器通常有一个窄频带，在该频带内它们有充分的触觉反馈响应。这个频率窗口通常在 $\pm 2.5\text{Hz}$ 左右，所以对驱动一个 LRA 驱动器来说是一个挑战。

TM6605 通过采用自动谐振跟踪解决了这个问题，它会自动检测并跟踪最佳的换向频率。这意味着 TM6605 会自动产生正确的谐振输出频率。作为一个额外的好处就是 TM6605 能够执行优化的制动算法，以此阻止 LRA 振铃，留给用户一个清晰的触觉反馈感觉。TM6605 还有电源校正功能来确保无电源调节时的恒定振动强度，从而允许与一个高效直流电池连接。本产品性能优良，质量可靠。

功能特点

- 灵活触控反馈/Vibra 驱动程序
 - LRA (线性振动马达)
- 针对 LRA 的自动谐振跟踪
 - 无需频率校准
 - 自动驱动换向
 - 自动制动算法
- 持续振动强度超过供应范围
- 标准 I2C 通讯方式
- 内置 44 种震动效果
- 2.7V 至 5.2V 的宽电源电压范围
- 封装形式：
- 应用领域：移动电话、平板电脑、支持触控的器件

管脚排列



管脚功能

引脚名称	引脚序号	I/O	功能说明
OUTP	1	0	正触觉驱动器差分输出
GND	2	-	地
TEST1	3	-	测试管脚，悬空处理
TEST2	4	-	测试管脚，悬空处理

TEST3	5	-	测试管脚，悬空处理
VDD	6	--	电源输入，需与 9 脚短接
SDA	7	I	I2C数据输入端
SCL	8	I	I2C时钟输入端
VDD	9	--	电源输入，需与 6 脚短接
OUTN	10	0	负触觉驱动器差分输出



集成电路系静电敏感器件，在干燥季节或者干燥环境使用容易产生大量静电，静电放电可能会损坏集成电路，天微电子建议采取一切适当的集成电路预防处理措施，不正当的操作焊接，可能会造成 ESD 损坏或者性能下降，芯片无法正常工作。

电气特性

极限工作条件

参数名称	参数符号	极限值	单位
输入电压	Vin	-0.3~VDD+0.3	V
环境温度范围	Ta	-40~85	°C
结温	Tj	-40~150	°C
存储温度范围	Tstg	-65~150	°C

- (1) 芯片长时间工作在上述极限参数条件下，可能造成器件可靠性降低或永久性损坏，天微电子不建议实际使用时任何一项参数达到或超过这些极限值。
- (2) 所有电压值均相对于系统地测试。

推荐工作条件

在 VDD=5V 和 TA=+25°C 测试条件下			TM6605			单位
参数名称	参数符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	
电源电压	Vdd	VDD	2.7		5.2	V
负载阻抗	Rl	VDD=5.2V	8			Ω
支持 LRA 频率	F0	LRA 的自谐振跟踪范围	140		220	Hz
数字输入低电压	Vil	SCL, SDA		0.3VDD		V
数字输入高电压	Vih	SCL, SDA		0.7VDD		V
环境温度范围	Ta		-40		85	°C
结到环境热阻	Rθja			153.7		°C/W
结到箱(顶)热阻	Rθjc(top)			86		°C/W
接点板热阻	Rθjb			70.4		°C/W
连接到顶部表征参数	ψjt			1.3		°C/W
点对板特性参数	ψjb			70.4		°C/W

电气特性

在 VDD=5V 和 TA=+25°C 测试条件下			TM6605			单位
参数名称	参数符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	
休眠电流	I _{sd}	休眠模式, VDD=5V		9.5	10	μA
停机时输出阻抗	R _{out}	OUT+ to GND, OUT- to GND		15		kΩ
PWM 输出频率	f _{sw}		19.5	20.3	21.5	kHz
漏源电阻, 高侧	R _{ds-hs}			1.05		Ω
漏源电阻, 低侧	R _{ds-ls}			0.85		Ω

差分输出电压	Vout	占空比= 100%, LRA 模式, 负载 = 25 Ω LRA	2.2	VRMS
热阈值			145	$^{\circ}\text{C}$
热滞后现象			18	$^{\circ}\text{C}$

参数测量

测试设置图

TM6605 的输出波形可连接示波器查看。输出信号包含高频 PWM 组件和引起运动的基本驱动部件。为了测量或观察基本驱动元件，必须使用低通滤波器来消除 PWM 分量。数字示波器的数字滤波功能被用于其他典型的数字示波器中。建议采用在 1 kHz 和 3.5 kHz 之间的 1 阶低通滤波器。如果没有数字滤波的数字示波器，则可使用 1 阶低通 RC 滤波网络代替，如图 2 虚线框。注意不要使用太低的滤波器阻抗。这会干扰驱动器动作的反电动势并破坏自动共振功能的运作。

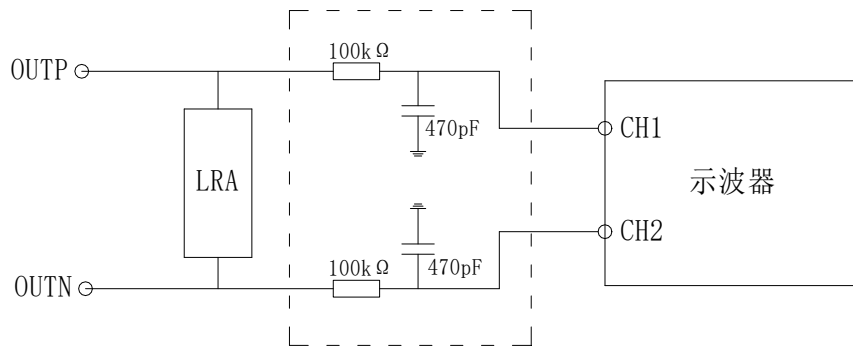


图 2

功能说明

1. 用于恒定振动强度的电源电压抑制

TM6605 具有电源反馈，因此不需要外部电源调节。如果电源电压随着时间的推移（例如，由于电池放电消耗），只要有足够的电源电压来维持所需的输出电压，振动强度将保持不变。TM6605 可以直接连接到电池。

2. 过温和过流保护防护

TM6605 芯片过温保护时将关闭设备，以防止内部过热，典型的超温阈值请参阅电气规格表。同时还具有过电流保护，用于防止短路条件下的损坏，这个过流保护监控电流来自 VDD, GND, OUT+ 和 OUT-。典型过流阈值请参阅电气规格表。

3. 边缘率控制

TM6605 输出驱动器实现了边缘速率控制 (Erc)。这确保了输出驱动器的上升和下降特性不释放可能干扰移动和便携式平台中的其他电路的辐射电平。由于 ErC，不需要任何输出滤波器或电感。

4. 自动谐振跟踪的范围

线性振动马达或称 LRAs，仅在其谐振频率下有效振动。LRAs 具有高精度频率响应特性，偏离响应频率 2 至 3 赫兹时，振动性能急剧下降。许多因素会引起驱动器谐振频率的变化或漂移，例如温度、老化、LRA 安装的产品质量以及便携式产品中它被固定的方式。此外，当驱动器被驱动到其最大允许电压时，由于机械压缩，许多 LRAs 将在频率上移动几赫兹。所有这些因素都是实时的。跟踪自谐振算法在驱动 LRA 时至关重要，以达到一致的、优化的性能。TM6605 自谐振驱动器实时跟踪 LRA 的共振频率。如果谐振频率在某个因素的波形中间移动，驱动器将跟踪它的周期。自动共振引擎通过不断监测

LRA 的反电动势来实现这一点。TM6605 的频率跟踪范围的为 140 Hz 至 220 Hz。

I2C接口说明

(1) 总线接口: MCU 通过 SDA 和 SCL 端口与 TM6605 进行数据传输。SDA 和 SCL 组成总线接口。建议连接一个上拉电阻到电源端。

(2) 数据有效性: 当 SCL 信号处于高电平时, SDA 端口上的数据都是有效稳定的。只有当 SCL 信号处于低电平时, 才能改变 SDA 端口上的电平高低。

(3) 开始(重新开始)和停止工作条件: 当 SCL 信号为高电平, SDA 信号由高电平转为低电平开始工作或者重新开始工作, 而 SCL 信号为高电平, SDA 信号由低电平转为高电平时停止工作。

(4) 字节格式: 数据线的每个字节由 8 位组成。每个字节包含一个应答位。传输第一个数据是 MSB。

(5) 应答: 在应答时钟期间, 主机使 SDA 端口处于高电平, 在写模式期间, TM6605 会发出应答信号使 SDA 端口在应答期间处于低电平。

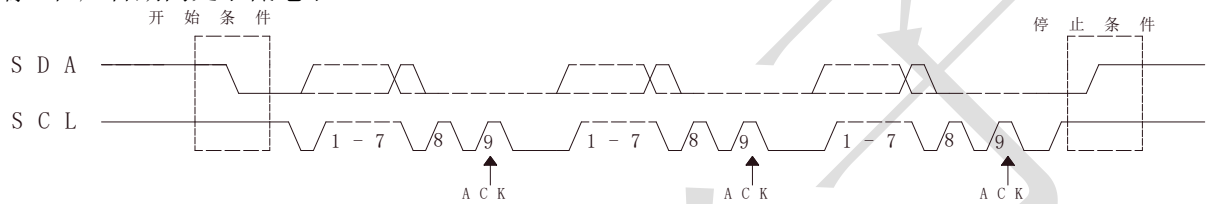
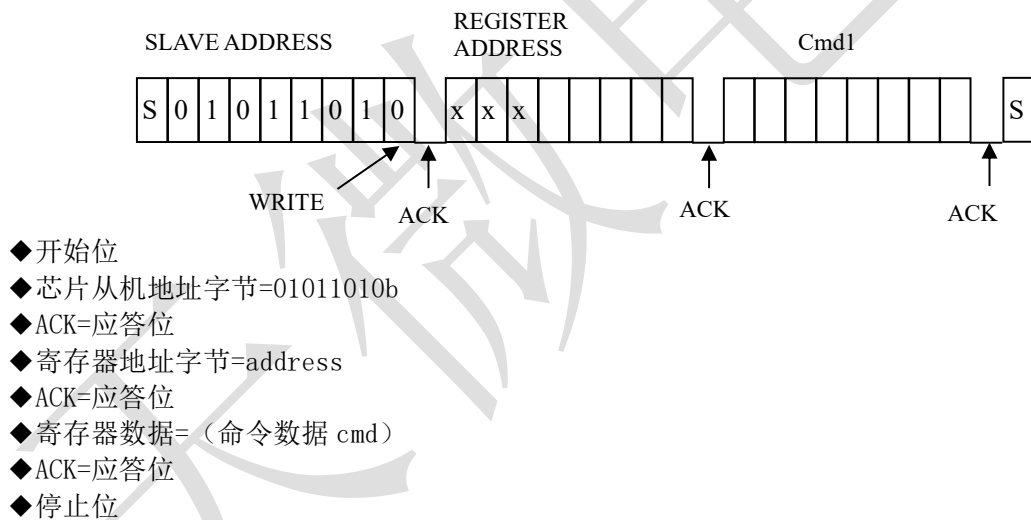


图 4

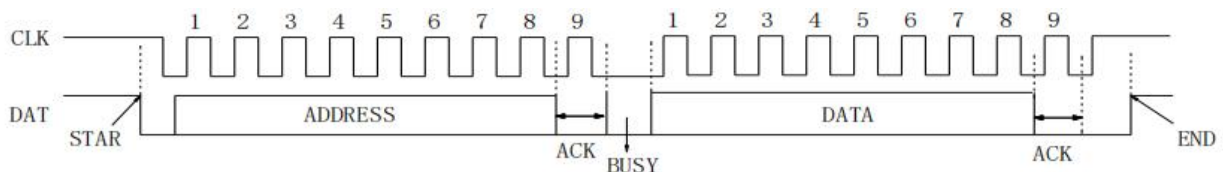
(6) TM6605 的从机地址为 **0x5A**

(7) I2C 接口协议: 写命令寄存器接口协议 **0x5A** (只支持写)



从机忙碌:

一字节数据(8bit +ACK)完成后, 从机开始处理数据(从机忙碌), 无法接收下一字节数据, 此时从机将 SCL 拉低, 主机需等待 SCL 为高电平时才可以继续进行数据传输。若使用模拟 IIC 作为主机则需在 ACK 后等待至少 13us (BUSY); 若使用硬件 IIC 作为主机, 由于硬件 IIC 一般自带时钟握手机制, 可不需等待该时间。



指令说明

1、效果选择寄存器

地址		指令								解释	
		MSB				LSB					
		B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0		
0x04		效果编号（详情见下表）									

效果编号	效果描述	时长（ms）	效果编号	效果描述	时长（ms）	效果编号	效果描述	时长（ms）
1	猛力触击	65	4	瞬击	45	7	轻撞击	130
10	两次触击	200	13	轻脉冲	215	14	剧烈警报	190
15	中时长警报	730	17	猛力触击 2	90	21	中强度触击	65
24	闪击	20	27	短间隔两次高强度点击	120	31	短间隔两次中强度点击	120
34	短间隔两次闪击	100	37	长间隔两次瞬击	150	41	长间隔两次中强度瞬击	150
44	长间隔两次闪击	150	47	警报	240	58	切换触击	620
70	长间隔缓慢减弱过渡 1	390	71	长间隔缓慢减弱过渡 2	620	72	中间隔缓慢减弱过渡 1	400
73	中间隔缓慢减弱过渡 2	650	74	短间隔缓慢减弱过渡 1	410	75	短时间缓慢减弱过渡 2	490
76	长间隔迅速减弱过渡 1	340	77	长间隔迅速减弱过渡 2	390	78	中间隔迅速减弱过渡 1	310
79	中间隔迅速减弱过渡 2	360	80	短间隔迅速减弱过渡 1	340	81	短间隔迅速减弱过渡 2	350
82	长间隔缓慢增强过渡 1	320	83	长间隔缓慢增强过渡 2	650	84	中间隔缓慢增强过渡 1	310
85	中间隔缓慢增强过渡 2	640	86	短间隔缓慢增强过渡 1	320	87	短间隔缓慢增强过渡 2	460
88	长间隔迅速增强过渡 1	290	89	长间隔迅速增强过渡 2	615	90	中间隔迅速增强过渡 1	320
91	中间隔迅速增强过渡 2	590	92	短间隔迅速增强过渡 1	330	93	短间隔迅速增强过渡 2	470
118	长时间警报	10000	119	柔和噪声	480	123	休眠指令	

若TM6605 在执行上一次的 effects 的过程中收到新的效果编号，TM6605 会继续执行原效果忽略新的效果编号，建议在两种效果间添加合适的发送间隔。上表中给出的时长参数是基于天微电子TM6605 DEMO板的测试结果，由于TM6605 输出涉及谐振追踪及反馈，建议使用时按实际样机测试结果为准，上述时长数据只做参考。效果播放完成后，该寄存器自动清 0。

休眠与唤醒

效果编号 123 是休眠指令，发送 123 至效果选择寄存器后会使TM6605 进入休眠模式。SCL 的下降沿动作可唤醒（发送任何指令可令TM6605 退出休眠模式，但该指令可能会被丢弃）

2、播放控制寄存器

地址	指令								解释
	MSB							LSB	
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
0x0C	0	0	0	0	0	0	0	1	允许效果播放
	0	0	0	0	0	0	0	0	禁止效果播放

应用信息

1. 典型应用

下图是 LRA 应用配置。

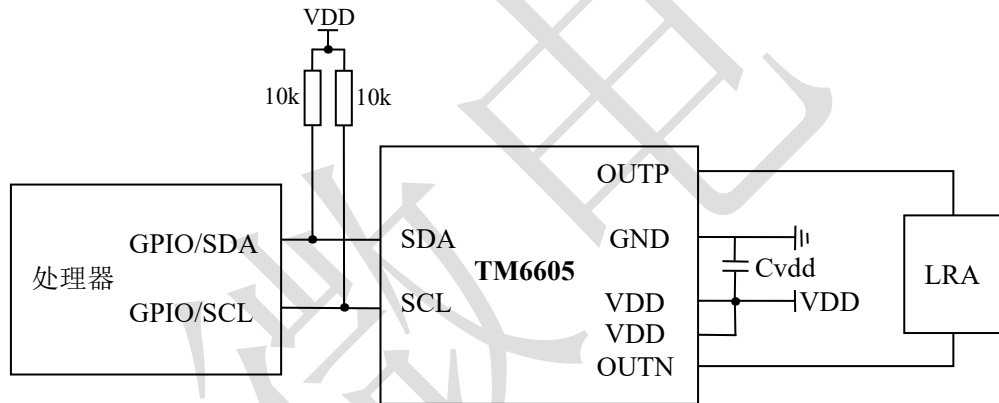


图 4

注意：1、SCL、SDA建议放置 10k上拉电阻，若外部干扰比较严重时可各对地预留 100p滤波电容。

2、VDD、GND之间建议放置 100nf滤波电容且PCB板布线尽量靠近TM6605 放置，若条件允许可预留 10uf电容。

2 详细的设计步骤

2.1 驱动器选择

选择驱动器要参考许多因素，包括成本、形状因子、振动强度、功耗要求、触觉锐度、可靠性和可听噪声性能。驱动器的选择是触觉系统最重要的设计考虑之一，因此驱动器应该是第一个在设计系统时要考虑的组件。如下可以用来选择所需的最小供电电压。

- 1、在驱动器数据表中找到额定/最大工作电压；有些驱动器数据表可能只有额定电压列出。
- 2、使用更大的额定值和最大工作电压加上 250mV 就是最小操作电压。增加 250mV 为内部驱动器损失提供了操作余量。
- 3、检查电源电压，以确保达到预期的输出。还需要根据负载求出最小供电电流。比较电池或电压的驱动能力以确保足够的功率来驱动驱动器数据表中的负载。

4、驱动器内阻建议选择 12Ω以上。

2.2 电源选择

TM6605 支持电源电压从 2.7V 到 5.2V。TM6605 可以直接连接到各种类型的电池，包括普通电池，如锂离子和锂聚合物。电源抑制特性消除了 TM6605 对电池和 VDD 之间的电压调节器的需要。

2.3 播放触觉效果

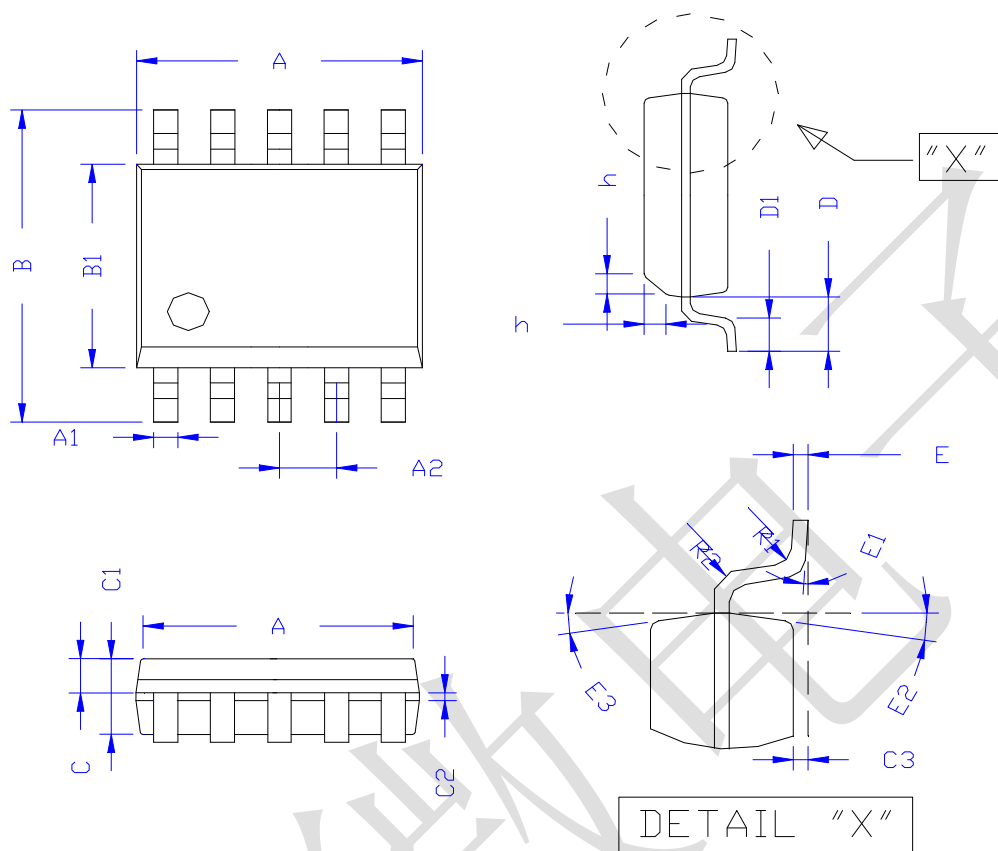
用 TM6605 播放触觉效果是很简单的。可通过以下步骤实现。

- 1、选择需要播放的效果，将对应的效果编号写入到地址 0x04 中（效果编号详细见**指令说明**）。
- 2、将 0x01 写入到播放控制寄存器 0x0C 使能效果播放。

注意：若 TM6605 在执行上一次的效果的过程中收到新的效果编号，TM6605 会继续执行原效果忽略新的效果编号，建议在两种效果间添加合适的发送间隔。

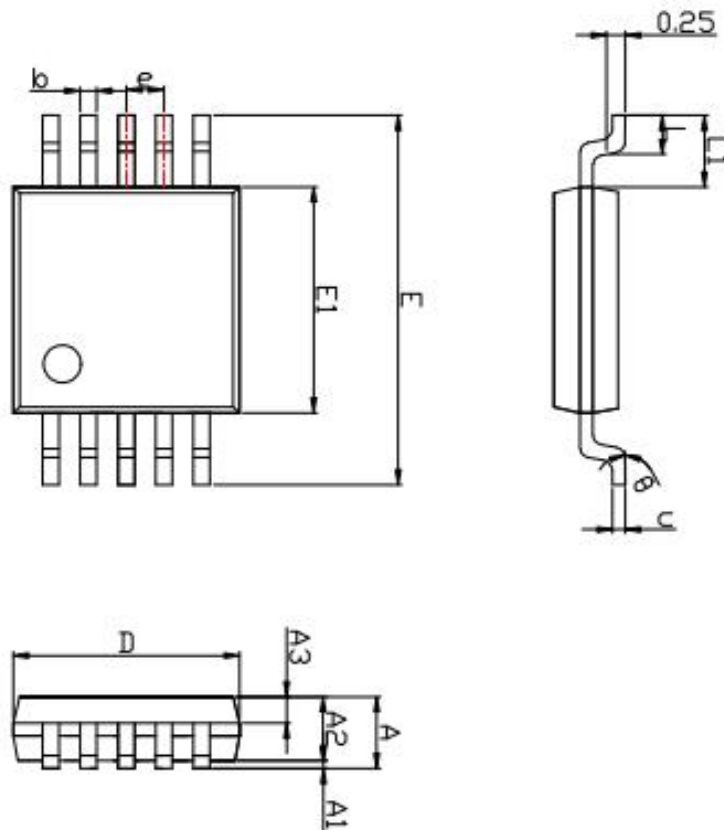
封装示意图

SSOP10



SYMBOL	表示	MIN	NOM	MAX
A	总长	4.70	4.90	5.10
A1	脚宽	0.33	0.40	0.51
A2	脚间距	0.90	1.00	1.10
B	跨度	5.70	6.00	6.30
B1	胶体宽度	3.80	3.90	4.00
C	胶体厚度	1.35	1.45	1.50
C1	上胶体厚	0.55	0.60	0.65
C2		0.05	0.15	0.25
C3	站高	0.02	0.15	0.20
D	单边长	0.85	1.05	1.20
D1	脚长	0.40	0.65	0.85
E	脚厚	0.15	0.20	0.25
E1	脚角度	0°		8°
h		0.30	0.40	0.50

MSOP10L



Symbol	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	—	—	1.10
A1	0.05	0.10	0.15
A2	0.80	0.85	0.90
A3	0.30	0.35	0.40
b	0.17	0.20	0.23
c	0.13	0.15	0.17
D	2.90	3.00	3.10
E	4.70	4.90	5.10
E1	2.90	3.00	3.10
e	0.50BSC		
L	0.40	0.55	0.70
L1	0.90	0.95	1.00
θ	0°	—	8°